



WHITE PAPERS

ASK-RD-ENG-071

R&D Department

ARYA SEPEHR KAYHAN (ASK) | SHAHID SALIMI INDUSTRIAL CITY, TABRIZ, IRAN

شرکت آریا سپهر کیهان با نام اختصاری ASK، طراح و تولیدکننده پمپ های گریز از مرکز و روتاری و ارائه دهنده راهکارهای بهینه سازی سیستم های فرایندی و پمپاژ می باشد.

توجه!

مقالات تخصصی با عنوان White Papers جهت افزایش دانش عمومی پمپ ها در بخش تحقیق و توسعه این شرکت نگارش شده است. استفاده از این مقالات رایگان می باشد و لازم است جهت استفاده از محتویات آن به موارد ذیل توجه فرمایید:

- 1- انتشار مجدد مطالب مقالات (به شکل اولیه و بدون تغییر در ساختار محتوایی و ظاهری) با ذکر منبع، بلامانع است.
- 2- استفاده تجاری از محتویات مقالات در نشریات مجاز نمی باشد.

نکاتی پیرامون طراحی حلزونی

مقدمه

هدف از این مقاله ارائه ی الگوریتمی است که به وسیله ی آن حلزونی مناسب برای پره ی یک پمپ با عملکرد مشخص در نقطه ی بهینه، طراحی شود. برخلاف الگوریتم های معرفی شده ی طراحی پره که در شماره ی قبل ارائه شد، الگوریتم های طراحی حلزونی بسیار متفاوت از هم اند. به عبارت دیگر روش واحدی جهت طراحی حلزونی ها وجود ندارد.

دلیل اصلی این موضوع در فلسفه ی وجود حلزونی در پمپ نهفته است. سیال به درون پمپ مکیده می شود و توسط پره به آن انرژی جنبشی داده می شود. وظیفه ی اصلی حلزونی، تبدیل این انرژی جنبشی به فشار می باشد. پوسته ی پمپ هیچ قطعه ای جهت تولید هد کلی ندارد؛ بنابراین تنها در کاهش افت ها تاثیرگذار است. لذا تفاوت های موجود بین روش های طراحی حلزونی تاثیر چندانی بر هد کلی ندارد.

به منظور درک بهتر مراحل طراحی حلزونی، روند آن با حل یک مثال شرح داده شده است. مثال حل شده طراحی حلزونی برای پره ای است که در نقطه ی بهترین عملکرد، نفت خام سبک را با دبی $Q = 100 \frac{m^3}{hr}$ و هد $H=30m$ در دور موتور $n=1450$ rpm پمپاژ کند. شایان ذکر است که چگالی نفت خام سبک $840 \frac{kg}{m^3}$ است. در شماره ی قبلی این نشریه پره ی مورد نظر با روش های مختلف طراحی شد. بنابراین از اطلاعات حاصل از یکی از این طراحی ها که در جدول ۱ آورده شده است استفاده می شود. اطلاعات مندرج در جدول ۱ حاصل طراحی پره با استفاده از نرم افزار CFTurbo و به روش مرحله به مرحله می باشد.

جدول ۱

| پارامتر | مقدار |
|-------------------------|--------|
| قطر داخلی روتور (mm) | 103 |
| قطر خارجی روتور (mm) | 312 |
| نسبت قطرها | 3.08 |
| زاویه ی ورودی پره | 30 |
| زاویه ی خروجی پره | 23 |
| تعداد پره | 6 |
| گام پره در ورودی (mm) | 52.88 |
| گام پره در خروجی (mm) | 163.36 |
| پهنای پره در خروجی (mm) | 20 |
| بازده هیدرولیکی | 86.6% |
| بارده حجمی | 87% |
| بازده کل | 75% |

طراحی حلزونی مبتنی بر متن کتاب لبانوف

کتاب «پمپ های سانتریفیوژ: طراحی و کاربرد» در سال ۱۹۸۵ توسط ول لبانوف و رابرت راس به نگارش در آمد. مطالب و روش های بیان شده در این کتاب بسیار شبیه به روش های بیان شده در کتاب «پمپ های سانتریفیوژ و جریان محوری» نوشته ی

استپانوف است که در سال ۱۹۵۷ منتشر شده است. کتاب مذکور یکی از کتب بنیادین طراحی پمپ است که لبانوف با نگاهی نو و با افزودن مطالب تالیفی خود به آن «پمپ های سانتریفیوژ: طراحی و کاربرد» را منتشر کرد. در نتیجه شیوه ی ارائه شده در این بخش را روش استپانوف نیز می توان نام نهاد.

تعیین پارامترهای حلزونی

گام اول) مساحت حلزونی (گلوبی)

شکل ۱ نمودارهای مختلفی را، از سازندگان مختلف پمپ های سانتریفیوژ، جهت تعیین مقدار ضریب k_3 ارائه می کند. در شکل ۲ میانگین این نمودارها ارائه شده است. با تعیین ضریب k_3 از نمودار شکل ۲ و با استفاده از رابطه ی زیر می توان مساحت حلزونی را محاسبه کرد:

$$A_v = \frac{0.04 \times Q}{k_3 \times H^{0.5}}$$

در رابطه ی فوق دبی بر حسب گالن در دقیقه و هد بر حسب فوت می باشد. مساحت به دست آمده بر حسب اینچ مربع است. روابط زیر جهت تبدیل واحدهای رابطه ی فوق مفید است:

$$1 \text{ m}^3 = 264 \text{ gal} , 1 \text{ hr} = 60 \text{ min} \rightarrow 1 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times \frac{264 \text{ gal}}{1 \text{ m}^3} = 6.07 \text{ GPM}$$

$$1 \text{ m} = 3.28 \text{ ft}$$

$$1 \text{ in}^2 = 6.34 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

همچنین برای تبدیل سرعت مخصوص از رابطه ی زیر استفاده می شود:

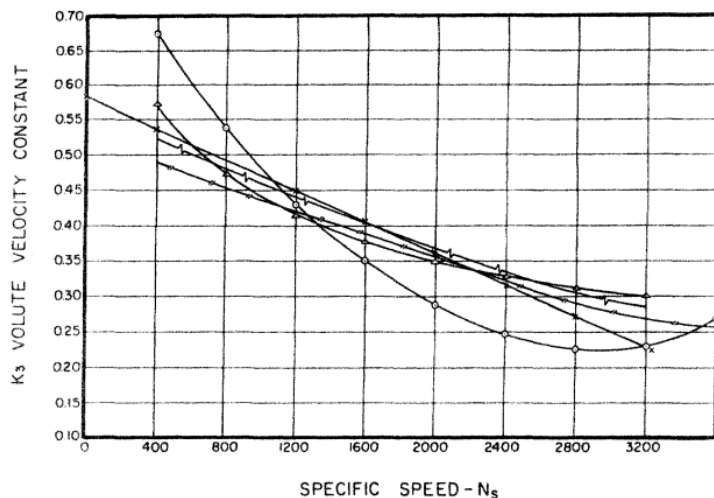
$$N_s = 51.6 n_q$$

برای حلزونی مذکور:

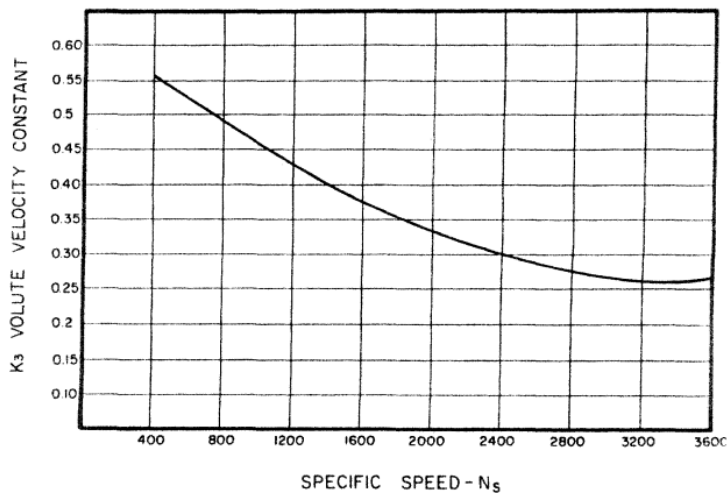
$$Q = 100 \times 6.07 = 607 \text{ GPM}$$

$$H = 30 \times 3.28 = 98.4 \text{ ft}$$

$$N_s = 51.6 \times 18.85 = 972.66 \rightarrow k_s \approx 0.46$$



شکل ۱



شکل ۲

با قرار دادن مقادیر فوق در رابطه ی مساحت حلزونی:

$$A_v = \frac{0.04 \times Q}{k_3 \times H^{0.5}} = \frac{0.04 \times 607}{0.46 \times 98.4^{0.5}} = 5.32 \text{ in}^2$$

در واحد SI:

$$A_v = 6.34 \times 10^{-4} \times 5.32 = 3.37 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

مقدار به دست آمده، مقدار نهایی مساحت حلزونی برای پمپ های تک حلزونی است. اگر پمپ مورد نظر از آرایش حلزونی دوبل استفاده کند، مقدار به دست آمده تقسیم بر دو خواهد شد.

گام اول) پهنای حلزونی

برای تعیین پهناى حلزونی، تطابق مقدار با قطر خارجی پره (d_2) و پهناى خروجی آن (b_2) حائز اهمیت است. همچنین این مقدار باید به گونه ای باشد که فاصله ی بین محفظه (casing) و شروود پره با وجود خطاهای معمول ریخته گری، کافی باشد. جدول ۲ مقدار پهناى حلزونی را ارائه می کند.

جدول ۲

| پهناى حلزونی (b_3) | سرعت مخصوص (N_s) | سرعت مخصوص (n_q) |
|------------------------|----------------------|----------------------|
| $2b_2$ | < 1000 | <19.4 |
| $1.75b_2$ | 1000-3000 | 19.4-58.1 |
| $1.6b_2$ | > 3000 | >58.1 |

پره ی حلزونی مذکور مقدار سرعت مخصوص در واحد SI ۱۸/۸۵ بوده و در نتیجه مشمول اطلاعات ردیف اول جدول ۲ می شود :

$$b_3 = 2b_2 = 2 \times 20 = 40 \text{ mm}$$

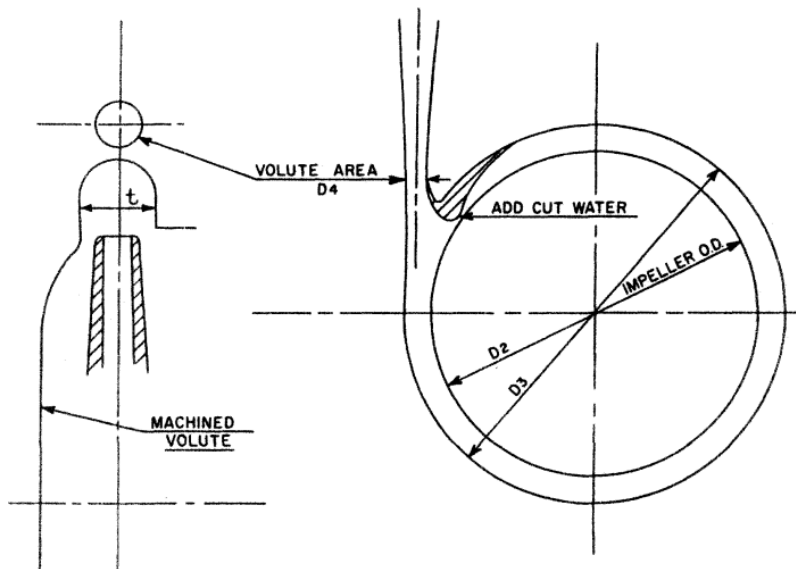
گام سوم) قطر کاتواتر

جهت جلوگیری از نویز، نوسانات و ارتعاشات، مخصوصا در فرکانس گذر پره، یک فاصله ی حداقلی بین لبه ی پره و لبه ی حلزونی در نظر گرفته می شود که به آن کاتواتر (cutwater) می گویند. جدول ۳ اطلاعات مفیدی پیرامون تعیین قطر کاتواتر ارائه می کند.

جدول ۳

| سرعت مخصوص (N_s) | سرعت مخصوص (n_q) | قطر کاتواتر (d_3) |
|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 600-1000 | 11.6-19.4 | $1.05d_2$ |
| 1000-1500 | 19.4-29.1 | $1.06d_2$ |
| 1500-2500 | 29.1-48.4 | $1.07d_2$ |
| 2500-4000 | 48.4-77.5 | $1.09d_2$ |

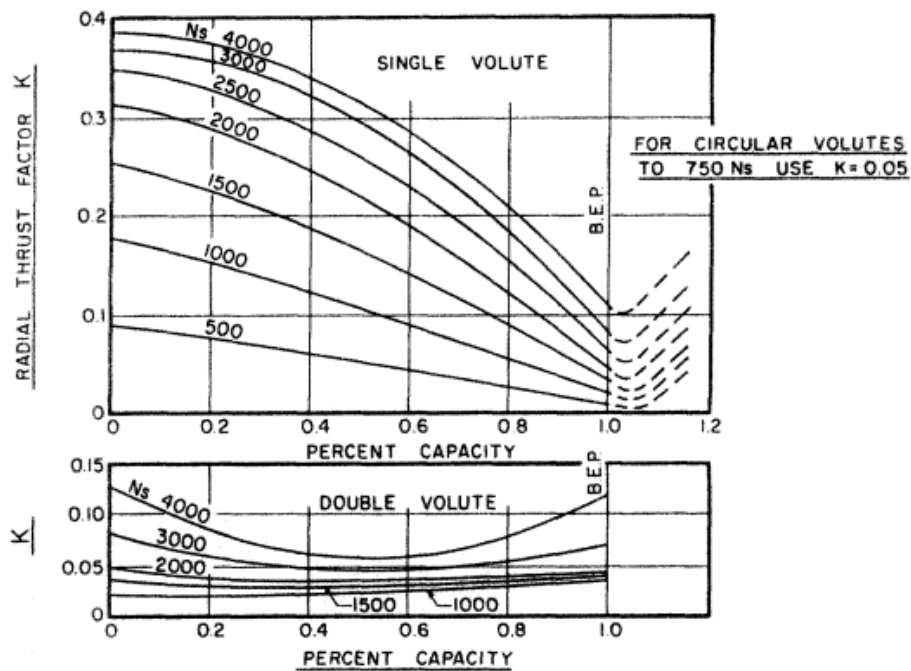
سه پارامتر تعیین شده در فوق در شکل ۳ نشان داده شده اند.



شکل ۳

علاوه بر تعیین سه پارامتر فوق، توصیه می شود در طراحی پارامترهای دیگر از نکات زیر استفاده شود:

۱. حلزونی برای حالت سرعت ثابت طراحی شود.
 ۲. انرژی جنبشی تنها در محفظه ی دیفیوزر مانند بعد از حلزونی به فشار تبدیل شود. زاویه ی واگرایی این محفظه ۷ تا ۱۳ درجه انتخاب شود.
 ۳. سطح مقطع حلزونی به تدریج از کاتواتر تا نازل حلزونی افزایش می یابد.
 ۴. توزیع فشار حول حلزونی تنها در نقطه ی BEP در تعادل است و در دو طرف این نقطه این تعادل به هم خورده و نیروی فشاری بر آن اعمال می شود که منجر به نیروی شعاعی روی پره می شود. نیروی شعاعی روی پره باعث خمش شفت و در موارد بحرانی باعث شکست آن خواهد شد. مقدار نیروی شعاعی مذکور برابر است با: $P = \frac{KHd_2b_2SG}{2.31}$. در شکل ۴ مقادیر تجربی ضریب K ارائه شده است.
 ۵. ترجیحا زاویه ی دیواره ی حلزونی در تمام طول آن ثابت بماند.
 ۶. فضای حلزونی در دو طرف شروود متقارن باشد.
 ۷. برای سرعت مخصوص های کمتر از ۶۰۰ از پروفیل دایروی استفاده شود.
- در رابطه با درک بهتر نکته ی شماره ی یک ارائه ی توضیحات زیر ضروری به نظر می رسد.



شکل ۴

روش های محاسبات حلزونی

دبی جریان گذرنده از یک سطح مقطع حلزونی با مساحت A و با موقعیت φ (همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است) برابر است با:

$$Q_{\varphi} = \int c_u dA = \int_{r_4}^{r_a(\varphi)} c_u b(r) dr$$

از طرفی :

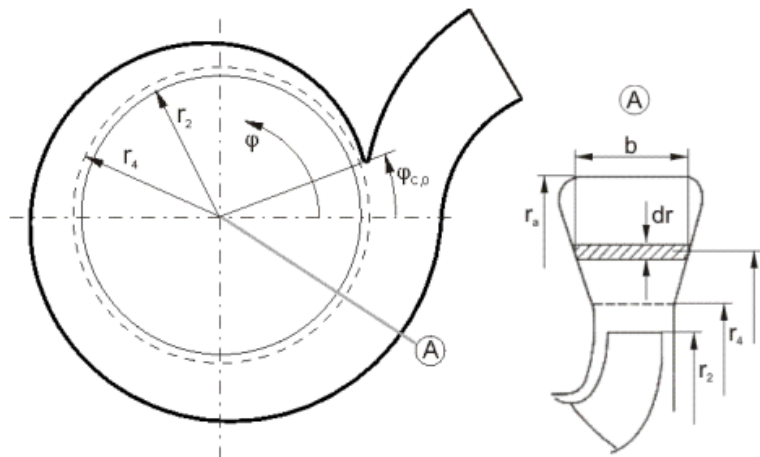
$$Q_{\varphi} = Q_i \times \left(\frac{\varphi}{2\pi}\right)$$

با جایگذاری φ در رابطه ی فوق رابطه ی نهایی به دست می آید:

$$\varphi = \frac{2\pi}{Q_i} \int_{r_4}^{r_a(\varphi)} c_u b(r) dr$$

$$Q_i = \frac{Q}{\eta_v} \text{ در رابطه ی فوق}$$

برای حل انتگرال فوق دو روش محاسباتی وجود دارد که در زیر شرح داده شده است:



شکل ۵

۱. روش فلیدرر^۶ (روش ممان ممنتوم ثابت)

این روش بر اساس این فرض می باشد که جریان در حلزونی قانون ممان ثابت ممنتوم را رعایت می کند. یعنی:

$$M_m = c_u r = const$$

از رابطه ی فوق می توان اینگونه استنباط کرد که با افزایش فاصله از محور پروانه، سرعت جانبی کاهش می یابد و در نتیجه در یک سطح مقطع از حلزونی این سرعت ثابت نیست. با برقراری این قانون اتلافات به حداقل می رسد و از وجود اصطکاک در سیال صرف نظر می توان صرف نظر کرد.

با استفاده از رابطه ی به دست آمده می توان مقدار انتگرال رابطه ی φ را اینگونه به دست آورد:

$$\varphi = \frac{2\pi}{Q_i} \int_{r_4}^{r_a(\varphi)} c_u b(r) dr = \frac{2\pi \times c_u r_4}{Q_i} \int_{r_4}^{r_a(\varphi)} \frac{b(r)}{r} dr$$

با انتخاب سطح مقطعی مانند چهارگوش، دایروی و دوزنقه ای این انتگرال به صورت صریح قابل حل است. در حالت کلی یکی از روش های متداول حل این انتگرال حل جدولی آن است. به این صورت که با تبدیل انتگرال به سیگما و با ایجاد جدولی ۲ ستونه شامل شعاع و پهنا، محاسبات حلزونی به پاسخ نهایی می رسد.

۲. روش استپانوف (روش سرعت ثابت)

استفاده از روش فلیدرر مشکلات زیر را با خود به همراه می آورد:

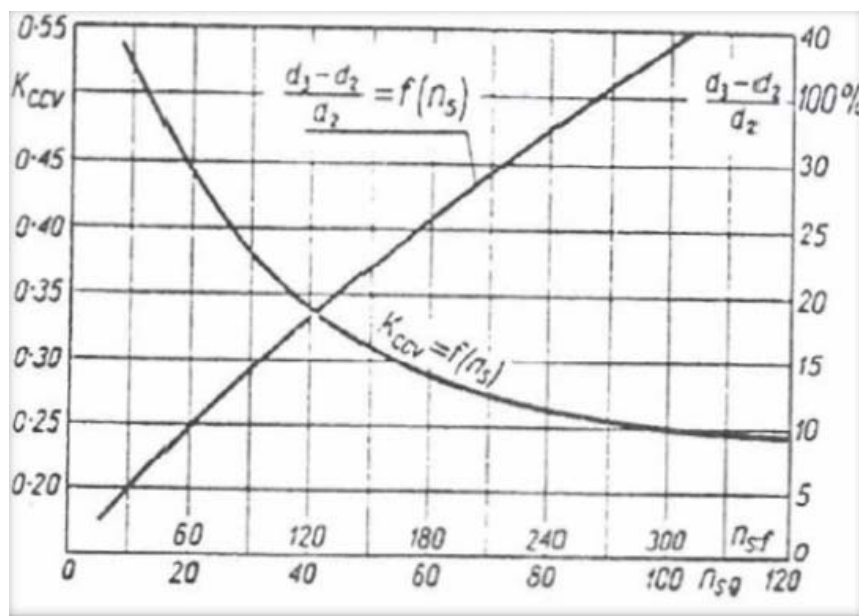
- I ناهمخوانی سرعت به دست آمده از این روش با سرعت واقعی در حلزونی
- II عدم قطعیت محاسبه ی افت های اصطکاکی
- III مقدار Q_{opt} باید به وسیله ی مقدار نهایی سطح مقطع حلزونی تعیین شود.

به همین دلیل استپانوف روشی را معرفی می کند که طی آن با افزایش φ سطح مقطع افزایش یافته و سرعت ثابت می ماند. استفاده از این روش حجم محاسبات را به طرز قابل ملاحظه ای کاهش می دهد. سرعت ثابت میانگین در حلزونی از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$c_u = K_{cv} \sqrt{2gH}$$

که در آن K_{cv} ضریبی تجربی است و از نمودار شکل ۶ به دست می آید. با استفاده از رابطه ی فوق می توان انتگرال مذکور را حل کرد:

$$\varphi = \frac{2\pi}{Q_i} \int_{r_4}^{r_a(\varphi)} c_u b(r) dr = \frac{2\pi \times K_{cv} \sqrt{2gH}}{Q_i} \int_{r_4}^{r_a(\varphi)} b(r) dr$$



شکل ۶

استفاده از طراحی استاندارد سطح مقطع جهانی حلزونی

جهت مشخص بودن کانتورهای حلزونی، می توان سطح مقطع حلزونی پمپ های مختلف را بر حسب یک مدل مرجع جهانی طراحی کرد. شایان ذکر است که استفاده از این طرح های جهانی بهترین عملکرد هیدرولیکی را در پی دارد؛ اگرچه ممکن است با سلیقه ی طراح جور در نیاید یا برخی ملاحظات طراحی مکانیکی را نقض کند. به جز پهنای پره و فاصله ی بین پره و کاتواتر سایر پارامترهای هر حلزونی ای بسیار مشابه هم است.

استفاده از این طرح ها، با تضمین عملکرد هیدرولیکی مناسب بخش آزمون و خطای طراحی حلزونی را حذف می کند. به همین منظور در شکل های ۷ و ۸ طرح جهانی این حلزونی ها با خروجی ۱۰ اینچ مربع نشان داده شده اند. همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، اگر مساحت خروجی حلزونی پمپ مورد نظر مقداری غیر از ۱۰ اینچ مربع بود، از گام های زیر اندازه های جدید به دست می آید:

گام اول) تعیین ضریب مساحت

از مساحت به دست آمده از رابطه ی $A_v = \frac{0.04 \times Q}{k_3 \times H^{0.5}}$ جهت تعیین ضریب مساحت استفاده می شود:

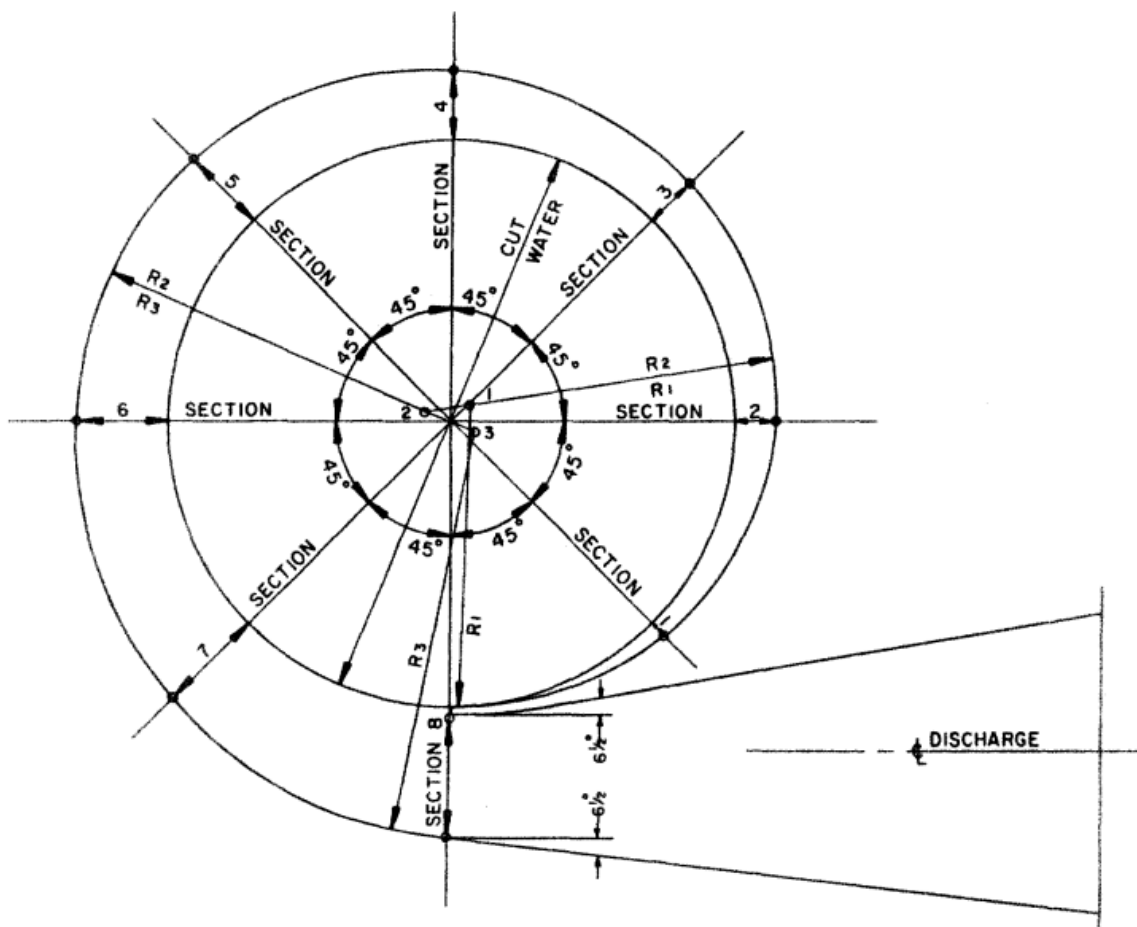
$$F = \sqrt{\frac{A_v}{10}}$$

برای حلزونی مذکور:

$$F = \sqrt{\frac{A_v}{10}} = \sqrt{\frac{5.32}{10}} = 0.73$$

گام دوم) تعیین مساحت های جدید هر بخش

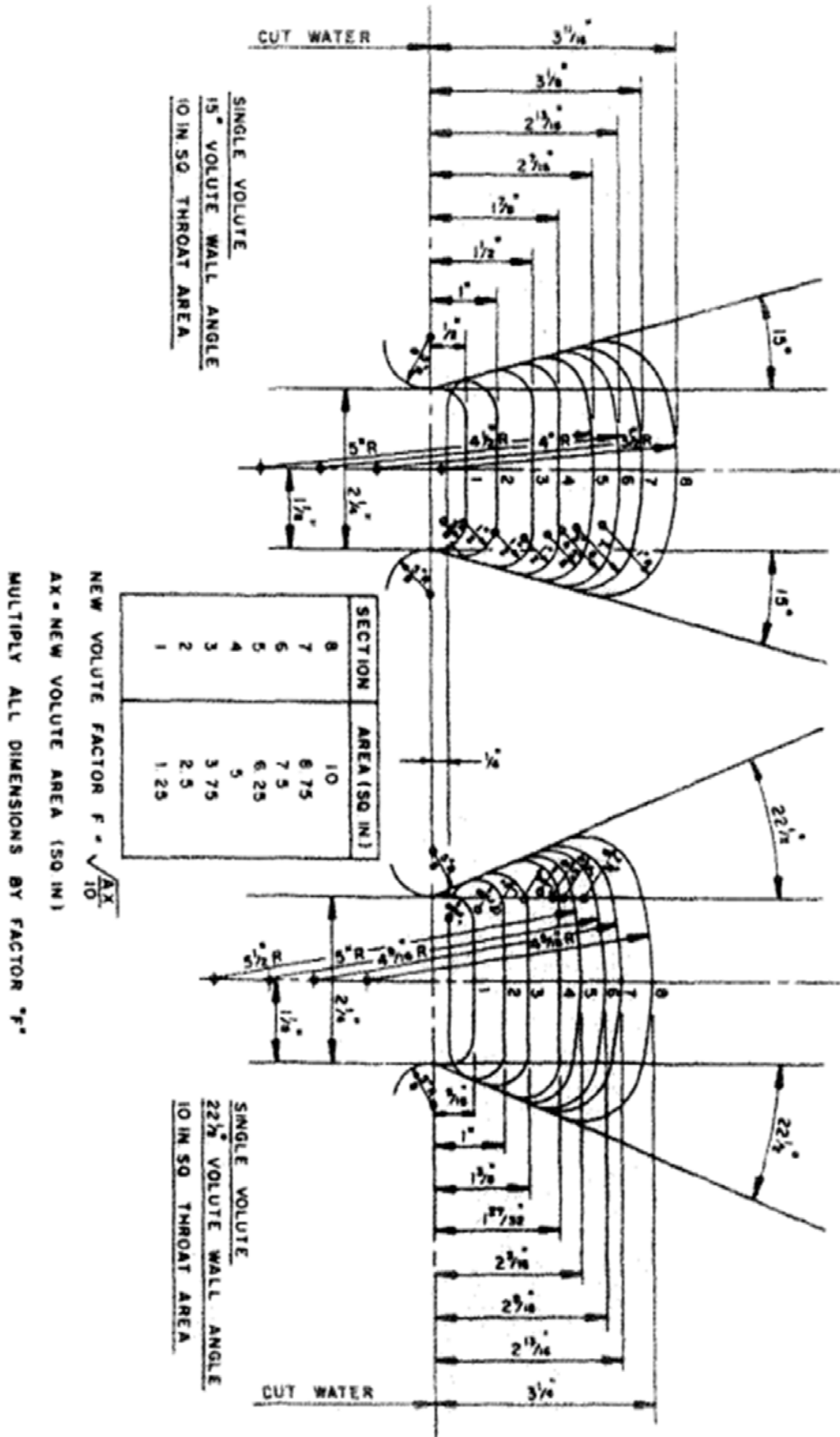
با ضرب ضریب به دست آمده از گام اول در مساحت های طراحی جهانی، مساحت های جدید به دست می آید.



شکل ۷

برای حلزونی مذکور:

| بخش | مساحت طرح جهانی (in ²) | مساحت طرح جدید جهانی (in ²) | مساحت طرح جدید جهانی (10 ³ × m ²) |
|-----|------------------------------------|---|--|
| ۸ | ۱۰ | ۷/۳۰ | ۴/۶۳ |
| ۷ | ۸/۷۵ | ۶/۳۹ | ۴/۰۵ |
| ۶ | ۷/۵ | ۵/۴۸ | ۳/۴۷ |
| ۵ | ۶/۲۵ | ۴/۵۶ | ۲/۸۹ |
| ۴ | ۵ | ۳/۶۵ | ۲/۳۱ |
| ۳ | ۳/۷۵ | ۲/۷۴ | ۱/۷۴ |
| ۲ | ۲/۵ | ۱/۸۳ | ۱/۱۶ |
| ۱ | ۱/۲۵ | ۰/۹۱ | ۰/۵۸ |



طراحی حلزونی مبتنی بر متن کتاب گولیچ

کتاب پمپ های سانتریفیوژ نوشته ی یوهان فردریش گولیچ در سال ۲۰۰۷ توسط انتشارات اشپرینگر چاپ شد. همانطور که انتظار می رود با توجه به سال انتشار این کتاب، به جزئیات هیدرولیکی بیشتری نسبت به کتب پیشین توجه شده است و طراحی بر اساس آن بار علمی بیشتری دارد. بر اساس روش توصیه شده ی این کتاب نرم افزار طراحی CFTurbo برنامه نویسی شده است که نقش مهمی در طراحی پره در دنیای پمپ ایفا می کند.

برای طراحی حلزونی به روش گولیچ، باید پارامترهای اساسی آن را به ترتیب زیر مشخص کرد:

❖ زاویه ی پوشش حلزونی (E_1)

زاویه ی پوشش حلزونی اغلب در آرایش های دوبل، دوقلویی و چندگانه حائز اهمیت هستند. همانطور که واضح است، زاویه ی پوشش حلزونی برای آرایش تک همواره ۳۶۰ درجه می باشد.

❖ دبی حلزونی (Q_{Le})

بدیهی است که میزان دبی نشتی ورودی پره، هیچگاه به حلزونی نمی رسد. لذا دبی ورودی به حلزونی با دبی ورودی به پره متفاوت است. این نشتی ها شامل نشتی های بین هر طبقه (برای پمپ های چند طبقه) و نشتی ناشی از بالانس نیروی تراست می باشد. پس:

$$Q_{Le} = Q_{opt} + Q_{Le} + Q_{s3}$$

برای حلزونی مذکور با توجه به اطلاعات پره ی طراحی شده در شماره ی قبل:

$$Q_{Le} = Q_{opt} + Q_{Le} + Q_{s3} = 100 + 7.5 + 0 = 107.5 \frac{m^3}{hr}$$

❖ سرعت جانبی سیال در ورودی حلزونی (C_{4u})

سرعت خروجی پره (C_{2u}) با توجه به روابط بیان شده در مقاله ی طراحی پره به دست می آید. اگر در خروجی پره دیفیوزری طراحی شود، سرعت ورودی دیفیوزر، بنا بر رابطه ی بقای ممنتوم از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$C_{3u} = \frac{r_2}{r_3} C_{2u}$$

که در آن زیروند ۳ نماینده ی ورودی دیفیوزر است. سرعت در خروجی دیفیوزر، سرعت در ورودی حلزونی است.

$$C_{4u} = C_{2u} = 14.7 \frac{m}{s}$$

برای حلزونی مذکور که بی دیفیوزر می باشد:

❖ قطر کاتواتر (d_z)

همانطور که پیشتر بیان شد، بین پره و حلزونی باید یک ناحیه با حداقل فاصله قرار داد تا از نوسانات و ارتعاشات ناخواسته جلوگیری کند. قطر کاتواتر که در وقع همان فاصله ی آن از محور پره می باشد از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$\frac{d_z}{d_2} \geq 1.03 + 0.1 \frac{n_q}{40} + 0.07 \frac{\rho H}{\rho_{REF} H_{REF}}$$

که در آن H_{REF} و ρ_{REF} مقادیر مرجع بوده و به ترتیب برابرند با ۱۰۰۰ متر و ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب.

برای حلزونی مذکور:

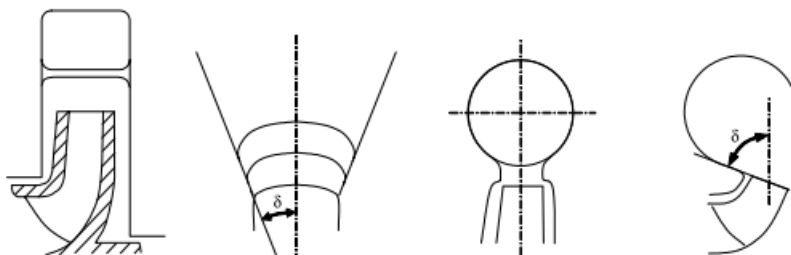
$$\frac{d_z}{d_2} \geq 1.03 + 0.1 \frac{n_q}{40} + 0.07 \frac{\rho H}{\rho_{REF} H_{REF}} = 1.03 + 0.1 \frac{18.85}{40} + 0.07 \frac{840 \times 30}{10^6} = 1.102$$

پس:

$$d_z = 1.11d_2 = 1.11 \times 312 \approx 346 \text{ mm}$$

❖ هندسه ی سطح مقطع حلزونی

هندسه ی سطح مقطع حلزونی باید با توجه به نوع پمپ، تنش های حلزونی و تغییر شکل های مجاز انتخاب شود. در شکل ۹ تعدادی از این هندسه ها نشان داده شده اند. از سمت چپ به ترتیب، حلزونی چهارگوش، حلزونی دوزنقه ای، حلزونی دایروی و حلزونی نامتقارن نام دارند.



شکل ۹

یکی از مهمترین عوامل در انتخاب هندسه ی سطح مقطع حلزونی، الگویی است که تولید کننده ی پمپ پیش از این، از آن تبعیت می کرد. استفاده از هندسه ی چهارگوش و دوزنقه ای مزیت ساخت و نصب آسانتر را نسبت به هندسه ی دایروی دارا هستند. در کل استفاده از هندسه های مسطح به جای هندسه های دایروی باعث کاهش افت های هیدرولیکی می شود. از همین رو انتخاب چنین هندسه هایی با نسبت عرض به ارتفاع ۲ بسیار بهینه است.

حلزونی های مورد استفاده و ساخته شده در کارخانه ی آریا سپهر کیهان هندسه ی دایروی دارند. لذا در ادامه با انتخاب این هندسه به طراحی حلزونی پرداخته می شود.

❖ پهنای ورودی (b_3)

پهنای ورودی حلزونی با توجه به مقدار پهنای خروجی پره، فواصل ضروری اطراف پره و الزامات حلزونی تعیین می شود. همچنین تغییرات از حلزونی به نازل خروجی باید تا حد امکان ملایم باشد. در نتیجه برای حلزونی های تک مقدار پهنای ورودی باید آنقدر بزرگ باشد که تقریباً برابر با مقدار ارتفاع شود.

مقدار نسبت $\frac{b_3}{b_2}$ بستگی به مقدار سرعت مخصوص دارد و می تواند در محدوده ی گسترده ای بدون آنکه تاثیر قابل ملاحظه ای بر روی بازده داشته باشد انتخاب شود. رعایت موارد زیر برای انتخاب این مقدار در یک پره ی باز مناسب است:

۱. در سرعت مخصوص های پایین برای جلوگیری از ارتعاشات زیاد باید $2 \leq \frac{b_3}{b_2} \leq 4$ باشد.
 ۲. در سرعت مخصوص های بالا برای جلوگیری توربولانس و جریان ثانویه باید $1.05 \leq \frac{b_3}{b_2} \leq 1.2$ باشد.
- با توجه به سرعت مخصوص پایین حلزونی مذکور:

$$b_3 = 2.5 b_2 = 50 \text{ mm}$$

❖ پروفیل کاتواتر

پروفیل کاتواتر باید بیضوی باشد تا آن را به تغییر خط جریان از تغییر شرایط کارکرد غیر حساس کند. این پروفیل باید کوتاه و نازک باشد تا در مقابل تنش ها مقاوم باشد و ریسک ایجاد ترک در آن کاهش یابد. ضخامت لبه ی جلویی کاتواتر (e_3) را می توان با یک دایره تعریف کرد که قطر آن تقریباً $0.02 d_2$ است. کاتواتر زاویه ای با مولفه ی جانبی سرعت می سازد که α_3 نام دارد. این زاویه باید به گونه ای انتخاب شود که منطبق بر خط جریان باشد.

برای حلزونی مذکور قطر دایره ی لبه ی کاتواتر $e_3 = 0.02 \times 312 \approx 6.25 \text{ mm}$ می باشد.

❖ مساحت گلویی حلزونی (A_{3q})

روش گولیچ برای محاسبات حلزونی، همان روش فلیدرر (روش ممان ممنتوم ثابت) است. همانطور که پیشتر در بخش طراحی لبانوف (استپانوف) بیان شد، طراحی های متنوع حلزونی تاثیر چندانی بر بازده ندارد. حلزونی با زاویه پوشش ε_{sp} باید برای دبی

شعاع هر قسمت از حلزونی توسط رابطه ی زیر تعیین می شود:

$$\int_{r_z}^{r_a} \frac{b}{r} dr = \frac{\varepsilon_{sp} \times Q_{Le}}{2\pi \times c_{2u} \times r_2}$$

برای حلزونی مذکور:

$$\int_{r_z}^{r_a} \frac{b}{r} dr = \frac{\varepsilon_{sp} \times Q_{Le}}{2\pi \times c_{2u} \times r_2} = \int_{0.173}^{r_a} \frac{b}{r} dr = \frac{107.5 \times \frac{1}{3600}}{14.7 \times 0.156} = 0.013$$

ضخامت لبه ی جلویی کاتواتر نیز روی شتاب گرفتن سیال موثر است ولی این تاثیر روی عملکرد پمپ در دبی مطلوب بسیار ناچیز است. در صورت تاثیر دادن این ضخامت در محاسبات، حد پایین انتگرال فوق به $r'_z = r_z + \frac{e_3}{2}$ تغییر می کند. ارتفاع گلویی از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$a_3 = r_a - r'_z$$

حل تحلیلی به دست آمده از انتگرال فوق، برای سطح مقطع دایروی، سه رابطه ی زیر را می دهد:

$$X_{sp} = \frac{Q_{Le}}{\pi \times c_{2u} \times r_2} \frac{\varepsilon_{sp}}{2\pi}$$

$$d_{3q} = X_{sp} + \sqrt{2d'_z X_{sp}}$$

$$A_{3q} = \frac{\pi d_{3q}^2}{4}$$

که در آن قطر معادل و A_{3q} مساحت گلوبی می باشد.

برای حلزونی مذکور:

$$X_{sp} = \frac{Q_{Le}}{\pi \times c_{2u} \times r_2} \frac{\varepsilon_{sp}}{2\pi} = \frac{\frac{107.5}{3600}}{\pi \times 14.7 \times 0.156} = 0.002$$

$$d_{3q} = X_{sp} + \sqrt{2d'_z X_{sp}} = 0.002 + \sqrt{2 \times (0.322 + \frac{0.00625}{2}) \times 0.002} = 0.038$$

$$A_{3q} = \frac{\pi d_{3q}^2}{4} = \frac{\pi \times 0.038^2}{4} = 0.0022 \text{ m}^2$$

تعیین هندسه ی دقیق حلزونی

۱. تعیین هندسه ی دقیق حلزونی مبنی بر قانون ممنتوم ثابت

همانطور که پیشتر بیان شد، رابطه ی زیر از قانون ممنتوم ثابت قابل استنباط است:

$$\int_{r_z}^{r_a} \frac{b}{r} dr = \frac{\varepsilon \times Q_{Le}}{2\pi \times c_{2u} \times r_2} \rightarrow \varepsilon = \frac{2\pi \times c_{2u} \times r_2}{Q_{Le}} \int_{r_z}^{r_a} \frac{b}{r} dr = \frac{2\pi \times c_{2u} \times r_2}{Q_{Le}} \sum_{r_z}^{r_a} \frac{b}{r} \Delta r$$

با استفاده از رابطه ی فوق روش گام به گام زیر برای تعیین هندسه ی دقیق حلزونی به کار می رود:

I. مقادیر b_3, r'_z, δ برای تعیین دو سطح مقطع دورانی داخلی و خارجی مشخص شود. (δ زاویه ی انحراف حلزونی از خط قائم بر محور روتور است).

II. محدوده ی خارجی سطح مقطع های مختلف مثل خطوط AF1 تا AF3 در شکل ۱۰ رسم شود. اینکه کدام سطح مقطع با چه ارتفاعی مناسب است با توجه به سطح مقطع گلوبی حلزونی معادل با سطح مقطع دایروی قابل تخمین است.

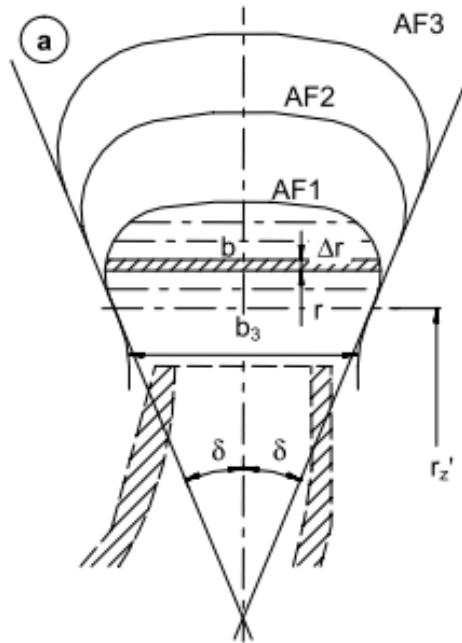
III. سطوح مقطع به المان های کوچک به عرض b و ضخامت Δr تقسیم شود. موقعیت هر المان با شعاع آن یعنی r تعیین می شود.

IV. تمامی مقادیر b, r و Δr به دست آمده، در یک جدول ردیف می شوند.

V. مقدار $\sum \frac{b}{r} \Delta r$ برای هر المان محاسبه می شود.

VI. جمع به دست آمده در رابطه ی $\varepsilon = \frac{2\pi \times c_{2u} \times r_2}{Q_{Le}} \sum_{r_z}^{r_a} \frac{b}{r} \Delta r$ قرار داده می شود. زاویه ی به دست آمده مبین زاویه ی آن سطح مقطع به خصوص می باشد.

VII. مقدار r_a متناظر نیز همزمان با مرحله ی قبل به دست می آید. گام های فوق معمولاً به وسیله ی یک برنامه ی کامپیوتری طی می شود.



شکل ۱۰

۱. تعیین هندسه ی دقیق حلزونی مبنی بر قانون سرعت ثابت

در این روش نیز مساحت گلویی مانند قبل محاسبه می شود. حال با استفاده از این مساحت می توان سرعت در گلویی را محاسبه کرد:

$$C_{3u} = \frac{QLe}{A_{3q}}$$

از طرفی مساحت گلویی برابر است با :

$$A_{3q} = \int_{r_z}^{r_a} b \, dr$$

سطوح مقطع در هر زاویه ای با استفاده از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$A(\varepsilon) = A_{3q} \frac{\varepsilon}{2\pi}$$

حال سوالی که پیش می آید این است که از کدام روش برای طراحی حلزونی استفاده شود؟ پاسخ را می توان در دو بند خلاصه کرد:

❖ برای $n_q < 25$ بهتر است از قوانین سرعت ثابت استفاده شود.

❖ برای $n_q > 25$ بهتر است از قوانین ممنتوم ثابت استفاده شود.

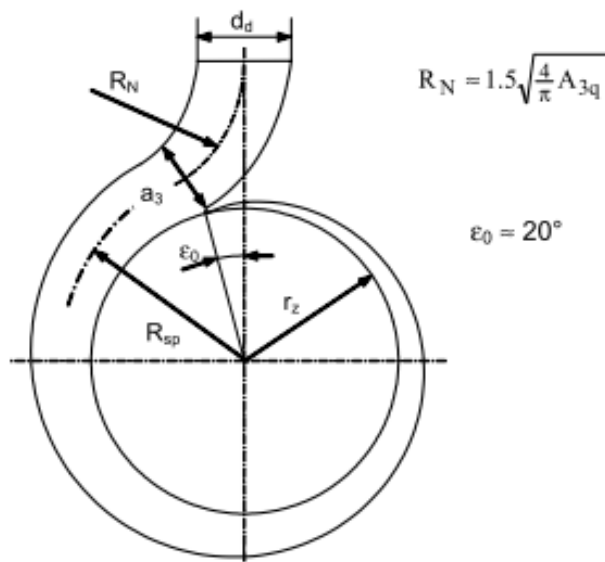
شایان ذکر است که در بازه ی سرعت مخصوص ۲۵ تا ۳۵ می توان از هر دو روش استفاده کرد.

نکاتی پیرامون طراحی نازل خروجی

- دقیقا بعد از حلزونی یک دیفیوزر (نازل) قرار می گیرد.
- در سرعت مخصوص های بالا ($n_q \geq 80$)، سیال در پایین دست گلویی نباید شتاب منفی داشته باشد. زیرا در غیر این صورت نازل بسیار بزرگ و غیر اقتصادی خواهد بود.
- در سرعت مخصوص های پایین شتاب منفی در پایین دست گلویی مطلوب است. نازل باید به گونه ای طراحی شود که شیبی ملایم داشته باشد و اتلافات هیدرولیکی آن کم باشد.
- طول دیفیوزر با توجه به تنش ها و ممتوم های موجود محدود می شود.
- نازل های شعاعی و مماسی دو نوع از نازل های متداولند.
- اگر نازل مماسی باشد باید از زاویه ی ۶۰ درجه و اگر شعاعی باشد باید از زاویه ی ۲۰ درجه ی حلزونی شروع شود.
- شعاع میانگین، برای نازل های شعاعی برابر است با:

$$R_N = 1.5 \sqrt{\frac{4 A_{3q}}{\pi}}$$

در شکل ۱۱ نمونه ای از نازل های شعاعی نشان داده شده است.



شکل ۱۱

منابع و مراجع

- Centrifugal pumps, Johhan F.Gulich, Springer, Leipzig, 2007.
- Centrifugal pumps: Design and application, Lobanoff Van.S & Ross.R , Gulf, 1987.
- Centrifugal and axial flow pumps, Stepanoff.A.J , Wiley and sons Inc, 1957.